

## 明 細 書

### 全光スイッチ

### 技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバ通信及び光情報処理の分野で波長変換器に使用される全光スイッチに関する。

### 背景技術

[0002] 光ファイバ通信システムの飛躍的な伝送容量増大や運用効率向上に向け、光電変換を介さず光領域で信号処理を行う技術の開発が活発化している。光領域で信号処理を行うには全光スイッチが必要である。特に、光ファイバ通信システムのノードにおいて波長クロスコネクト機能を提供する波長変換器への期待は高い。

[0003] ゼロ復帰方式(Return to Zero;RZ)のデータ変調光信号で駆動する全光スイッチとして、半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier;SOA)を共鳴励起して得られる高効率な非線形光学効果を利用し、更に、このSOAをマッハ・ツェンダー型光回路に組み込んで動作原理を工夫することで高速性をも兼ね備えた全光スイッチが提案されている(例えば、特許文献1乃至4及び非特許文献1参照。)。以下、この全光スイッチを従来例1とする。

[0004] 図7は従来例1の全光スイッチの構成を示す図である。図7に示すように、従来例1の全光スイッチは、マッハ・ツェンダー型光回路の2つの光路(以下、アームともいう)に夫々SOAを備えた非線形導波路素子101及び102が配置されている。この全光スイッチには、ゼロ復帰方式でデータ変調されたパルス状の信号光(RZ信号光)51及び無変調連続(Continuous Wave;CW)光52が入力される。その際、RZ信号光51の波長 $\lambda_1$ 及びCW光52の波長 $\lambda_2$ はいずれもSOAの利得領域に設定される。信号光パルスは、ポート107より入力され、3dBカプラ110で分岐された後、一方は、可変遅延回路111、可変減衰器112及び3dBカプラ105をこの順に通過して非線形導波路素子101へ入力される。他方は、可変減衰器113及び3dBカプラ106をこの順に通過して非線形導波路素子102へ入力される。なお、図7においては、前述の2つのパスの光路長が相互に異なるように図示しているが、これは図示の便宜のためであ

る。

- [0005] また、この全光スイッチにおいては、可変遅延回路111を調節することにより、非線形導波路素子101に入力されるRZ信号光と非線形導波路素子102に入力されるRZ信号光との間に時間差を設けることができる。RZ信号光51は、反転分布状態にある非線形導波路素子101及び102において、キャリア密度を誘導放出により減少させ、非線形導波路素子101及び102の屈折率を変化させる。一方、波長 $\lambda_2$ のCW光52は、入力ポート108に入力され、3dBカプラ103で一旦分岐された後、非線形導波路素子101及び102で生じる屈折率変化(非線形位相シフト)を受ける。非線形導波路素子101及び102を通過したCW光52は、3dBカプラ104で再び合波されることによってRZデータ変調信号光となり、波長変換光として出力ポート109から出力される。
- [0006] このようなマッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器114及び115を使用することにより、波長 $\lambda_1$ のRZ信号光51が入力されない場合は、CW光52に由来する波長が $\lambda_2$ であるパルス状の出力光がポート109から出力されないように設定される。即ち、波長 $\lambda_1$ のRZ信号光51が入力されない場合、両アームを通過した波長 $\lambda_2$ のCW光52が3dBカプラ104で干渉する際の位相差が半波長となるように設定される。そして、RZ信号光51が入力され、非線形導波路素子101において非線形屈折率変化が生じると、非線形導波路素子101を通過する波長 $\lambda_2$ のCW光52が非線形位相シフトを受け、出力ポート109からの波長 $\lambda_2$ の光出力がオンとなる。
- [0007] RZ信号光が非線形導波路素子101及び102においてキャリア密度を減少させる誘導放出過程は、RZ信号光51のパルス幅程度の間だけ継続する。このため、キャリア密度変化又は非線形屈折率変化の立ち上がりに要する時間は、RZ信号光51のパルス幅程度である。これに対し、非線形屈折率変化の緩和時間、即ち、もとの反転分布状態へ戻るキャリア寿命は、通常100ps乃至1ns程度と遅い。しかしながら、この従来例1の全光スイッチにおいては、非線形導波路素子101にRZ信号光51を入力し、その後、このRZ信号光51のパルス幅と略等しい時間 $\Delta T$ が経過した後、非線形導波路素子102にRZ信号光を入力し、非線形屈折率変化を生じさせることにより、長いキャリア寿命に依存しないスイッチング動作を行う。これにより、マッハ・ツェンダ

一型光回路の両アームを通過する波長  $\lambda_2$  のCW光52も非線形位相シフトを受け、3 dBカプラ104で干渉する際の位相差は初期状態の半波長に戻り、出力ポート109からの波長  $\lambda_2$  の光出力がオフとなる。つまり、波長  $\lambda_2$  の光出力は  $\Delta T$  のパルス幅を有するRZデータ変調光となる。このようにして、波長  $\lambda_1$  のRZ信号光51のパルス列を入力して波長  $\lambda_2$  のデータ変調光のパルス列を得る波長変換動作が実現される。

[0008] また、従来、非ゼロ復帰方式(Non Return to Zero;NRZ)のデータ変調光信号で駆動する全光スイッチも提案されている(例えば、非特許文献2参照。)。以下、この全光スイッチを従来例2とする。図8は従来例2の全光スイッチの構成を示す図である。図8に示すように、この従来例2の全光スイッチは、マッハ・ツェンダー型光回路の両アームにSOAを備えた非線形導波路素子101及び102が配置されている。この全光スイッチには、非ゼロ復帰方式でデータ変調された信号光(NRZ信号光)53及びCW光52が入力される。その際、NRZ信号光53の波長  $\lambda_1$  及びCW光52の波長  $\lambda_2$  はいずれもSOAの利得領域に設定される。

[0009] NRZ信号光53は、入力ポート121へ入力され、カプラ123で分岐された後、一方は非線形導波路素子101へ入力され、他方は非線形導波路素子102へ入力される。カプラ123における分岐比は非対称になっており、非線形導波路素子101に入力される信号光強度は、非線形導波路素子102に入力される信号光強度よりも大きい。このため、非線形導波路素子101において引き起こされる屈折率変化(非線形位相シフト)が非線形導波路素子102において引き起こされる屈折率変化より大きくなる。また、波長  $\lambda_2$  のCW光52は入力ポート122へ入力され、カプラ123で分岐された後、非線形導波路素子101及び102で生じる非線形位相シフトを受ける。非線形導波路素子101及び102を通過したCW光52はカプラ124で再び合波されることによりNRZデータ変調光となり、波長変換光とし出力ポート125から出力される。

[0010] このようなマッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器114及び115を使用することにより、波長  $\lambda_1$  のNRZ信号光53の入力がない場合に、波長  $\lambda_2$  の出力光が出力ポート125から出力されないように設定される。即ち、NRZ信号光53の入力がない場合は、両アームを通過した波長  $\lambda_2$  のCW光52がカプラ124で干渉する際の位相差は半波長となるように設定される。なお、カプラ123における分岐比は非対

称であるが、CW光52の場合、SOAを通過する時点で、利得飽和のため両アームの強度は等しくなることが予想される。また、カプラ124の直前に強度調整器を設けたり、カプラ124の分岐比を調整したりすることにより、初期状態において出力を0にできる。

[0011] この従来例2の全光スイッチにおいては、NRZ信号光53が入力されると、非線形導波路素子101及び102において夫々非線形屈折率変化が生じる。両アームを通過する波長 $\lambda_2$ のCW光52は異なる非線形位相シフトを受けるため、カプラ124で干渉する際の位相差が変化することになる。これにより、出力ポート125からの波長変換光の出力がオンとなる。一方、NRZ信号光53の入力がない状態に戻ると、非線形導波路素子におけるキャリア密度は回復し、波長変換光の出力はオフに戻る。キャリア密度が回復し非線形屈折率変化が緩和する過程はキャリア寿命で定まる。

[0012] NRZ信号光が非線形導波路素子に入力される場合、RZ信号光が入力される場合と異なる点は、信号光の入力がオフからオンに切り替わる過程のキャリア密度変化もキャリア寿命で定まることである。NRZ信号光が入力される場合、信号光の継続時間は少なくとも1ビットのタイムスロット程度と長いため、信号光の入力が継続する間に、非線形導波路素子内のキャリア密度は定常状態に向かい、その時定数はキャリア寿命となる。

[0013] 特許文献1:特開平7-20510号公報

特許文献2:特開平7-199240号公報

特許文献3:特開平9-60440号公報

特許文献4:特開2002-236272号公報

非特許文献1:Kazuhito TAJIMA, 「All-Optical Switch-Off Time Unrestricted by Carrier Lifetime」, 1993年12月, Japanese Journal of Applied Physics, 第32巻, p. L1746-L1749

非特許文献2:F. Ratovelomanana、外9名, 「An All-Optical Wavelength-Converter with Semiconductor Optical Amplifiers Monolithically Integrate in an Asymmetric Passive Mach-Zehnder Interferometer」, 1995年10月, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, 第7巻, 第10号, p. 992-994

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0014] しかしながら、前述の従来技術には以下に示す問題点がある。光ファイバ通信においては、高ビットレートの伝送にはRZ信号が使用される傾向があるものの、通常はNRZ信号光が使用されることが多い。このため、RZ信号光による駆動のみしか考慮されていない従来例1の全光スイッチにおいては、非線形導波路素子101においてRZ信号光が引き起こす屈折率変化により両アーム間の位相差が変化した後、非線形導波路素子102においてRZ信号光が引き起こす屈折率変化により両アーム間の位相差は初期状態に戻るが、この全光スイッチにRZ信号光ではなくNRZ信号光を入力すると、信号光入力強度がゼロでない状態では非線形導波路素子101にも非線形導波路素子102にも信号光が入力され続けるため、両アームの屈折率変化が相殺される状態となり、波長変換光の出力がオフになってしまうという問題点がある。
- [0015] 一方、NRZ信号光で駆動する従来例2の全光スイッチは、高いビットレートで動作させることは困難であるという問題点がある。従来例2の全光スイッチは、信号光がオフからオンに向かう過程のキャリア密度変化も、オンからオフに向かう過程のキャリア密度変化も、キャリア寿命で定まるため、波長変換出力光の波形は、オフからオンに向かう過程でもオフからオンに向かう過程でも裾引きを伴う。このため、キャリア寿命が100ピコ秒だとすると、これより短い時間で波形が変化する10Gb/秒又は40Gb/秒といったビットレートのNRZ信号光で駆動する場合には、波長変換出力光における波形歪みが極めて大きくなる。
- [0016] 本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、キャリア寿命に依存する波長変換出力光の波形歪みを解消し、高ビットレートのNRZ信号光でも駆動可能な全光スイッチを提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

- [0017] 本発明に係る全光スイッチは、非ゼロ復帰方式の信号光が入力される第1の入力ポートと、搬送光が入力される第2の入力ポートと、第1及び第2の光路と、前記第1及び第2の入力ポートに入力された光を夫々前記第1及び第2の光路に分配する分配部と、前記第1の光路に設けられ前記分配部により分配された信号光のうち一方

の信号光及び前記分配部により分配された搬送光のうち一方の搬送光が入力され前記一方の信号光により屈折率が非線形に変化して前記一方の搬送光の位相を非線形にシフトさせる第1の非線形光学素子と、前記第2の光路に設けられ前記分配部により分配された信号光のうち他方の信号光及び前記分配部により分配された搬送光のうち他方の搬送光が入力され前記他方の信号光により屈折率が非線形に変化して前記他方の搬送光の位相を非線形にシフトさせる第2の非線形光学素子と、前記第2の非線形光学素子に入力される前記他方の信号光を前記第1の非線形光学素子に入力される前記一方の信号光よりも減衰させる減衰部と、前記第1の非線形光学素子に前記一方の信号光が入力した後に前記第2の非線形光学素子へ前記他方の信号光が入力するようにする遅延部と、前記第1及び第2の光路を通過した光を合成する合成部とを有し、前記遅延部により前記他方の信号光の入力が遅延される時間は、前記第1及び第2の非線形光学素子における非線形屈折率変化の緩和時間よりも短いことを特徴とする。

[0018] 本発明においては、減衰部により第1及び第2の非線形光学素子に入射される信号光の強度を変えて、第1及び第2の非線形光学素子において誘起される位相変化量を変えると共に、遅延部により第2の非線形光学素子へのNRZ信号光の入力を、第1の非線形光学素子へのNRZ信号光の入力よりも遅延させるため、第1の非線形光学素子における位相変化が裾を引き始めと、第2の非線形光学素子における位相変化の立ち上げ又は立ち下げとが重なり、位相変化の裾の影響を効率的に相殺することができる。

[0019] このとき、信号光の第2の非線形光学素子への入力が遅延される時間は、キャリア寿命又は屈折率変化の緩和時間よりも小さくする。これにより、NRZ信号光の入力により第1及び第2の非線形光学素子において誘起される位相変化が異なるため、第1及び第2の光路における位相差は初期状態に戻ることなく、出力が得られる。また、NRZ信号光が入力され続けると各々の非線形光学素子で生じる位相変化量はキャリア寿命程度の時間をかけて定常状態に近づくが、この全光スイッチにおいては、第1の非線形光学素子において誘起される位相変化が定常状態に向かう裾引き過程に入る頃に、第2の非線形光学素子における位相変化が誘起されるため、第1の非

線形光学素子における位相変化の裾引き過程の影響は、第2の非線形光学素子における位相変化の立ち上がりによってある程度相殺することが可能となる。更に、NRZ信号光の入力がオンからオフとなる過程においても、各々の非線形光学素子で生じる位相変化量はキャリア寿命程度の時間をかけて初期状態へ緩和するが、この全光スイッチにおいては、第1の非線形光学素子における緩和が初期状態に向かう裾引き過程に入る頃に、第2の非線形光学素子における位相変化も緩和を開始するため、第1の非線形光学素子における位相変化の裾引き過程の影響は、第2の非線形光学素子における位相変化の緩和によってある程度相殺することが可能となる。

[0020] 前記第1及び第2の入力ポートは、前記信号光の伝搬方向と前記搬送光の伝搬方向とが逆方向になるように配置してもよい。搬送光とNRZ信号光を逆方向に伝搬させるような構成にすることにより、搬送光とNRZ信号光とが同じ波長でも動作可能になる。

[0021] また、この全光スイッチは、搬送光として、CW光だけでなく、NRZ信号光と同期したクロックパルス光を使用することができる。搬送光をクロックパルス光にすると、NRZ→RZ変換が可能になる。

[0022] 更に、前記遅延部は、例えば、前記第2の光路における前記分配部から前記第2の非線形光学素子までの光路長を、前記第1の光路における前記分配部から前記第1の非線形素子までの光路長よりも長くすることにより形成することができる。

#### 発明の効果

[0023] 本発明によれば、高いビットレートのNRZ信号光で駆動される場合であっても、スイッチ動作がオフからオンに切り替わる過程及びオンからオフに切り替わる過程において、非線形屈折率変化の緩和時間の影響を受けずに動作させることができるため、従来の全光スイッチよりも広範囲のビットレートのNRZ信号光で動作可能になる。

#### 図面の簡単な説明

[0024] [図1]本発明の第1の実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。

[図2](a)は入力ポート7に入力されるNRZ信号光のパターンを示す波形図であり、(b)は非線形導波路素子1及び2における非線形位相シフトを示す波形図であり、(c)は出力ポート9から出力される出力光強度のアイパターンを示す波形図である。

[図3]本発明の第2の実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。

[図4]本発明の第3の実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。

[図5]本発明の第4の実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。

[図6]本発明の第5の実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。

[図7]従来例1の全光スイッチの構成を示す図である。

[図8]従来例2の全光スイッチの構成を示す図である。

### 符号の説明

- [0025] 1、2、101、102;非線形導波路素子  
3ー6、10、32ー35、37、103ー106、110;3dBカプラ  
7、8、21、22、31、32、41、42、107、108、121、122;入力ポート  
9、25、38、45、109、125;出力ポート  
11、111;可変遅延回路  
12、13、112、113;可変減衰器  
14、15、114、115;位相調整器  
23、24、43、44、123、124;カプラ  
51;RZ信号光  
52;CW光  
53;NRZ信号光  
54;クロックパルス光

### 発明を実施するための最良の形態

- [0026] 以下、本発明の実施の形態に係る全光スイッチについて、添付の図面を参照して具体的に説明する。先ず、本発明の第1の実施形態に係る全光スイッチについて説明する。図1は本実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。図1に示すように、本実施形態の全光スイッチは、入力ポート7から入力された非ゼロ復帰方式でデータ変調された信号光(NRZ信号光)53を2つに分配する3dBカプラ10と、入力ポート8から入力された搬送光であるCW光52を2つに分配する3dBカプラ3と、3dBカプラ10で分配された一方の信号光及び3dBカプラ3で分配された一方のCW光が入力される3dBカプラ5と、3dBカプラ10で分配された他方の信号光及び3dBカプラ3で分



配された他方のCW光が入力される3dBカプラ6と、3dBカプラ5から出力された光及び3dBカプラ6から出力された光を合成して出力ポート9に出力する3dBカプラ4と、を備えたマッハ・ツェンダー型光回路が設けられている。

[0027] 本実施形態の全光スイッチにおいては、3dBカプラ5と3dBカプラ4との間に、SOAを備えた非線形導波路素子1及び位相調節器14が設けられており、3dBカプラ6と3dBカプラ4との間には、SOAを備えた非線形導波路素子2及び位相調節器15が設けられている。この非線形導波路素子1及び2は、入力された光の屈折率を非線形に変化させて出力するものである。また、位相調整器14及び15は、NRZ信号光53が入力されない場合に、CW光52に由来するの出力光が出力ポート9から出力されないようにするものであり、NRZ信号光53の入力がない場合には、両アームを通過したCW光が3dBカプラ4で干渉する際の位相差が半波長になるように設定されている。

[0028] また、本実施形態の全光スイッチにおいては、入力されたNRZ信号光53を分配する3dBカプラ10と3dBカプラ5との間に、可変遅延回路11及び可変減衰器12が設けられており、3dBカプラ10と3dBカプラ6との間には、可変減衰器13が設けられている。可変遅延回路11は、3dBカプラ10で分配された一方のNRZ信号光が非線形導波路素子1に入力した後で、他方のNRZ信号光が非線形導波路素子2に入力するように、他方のNRZ信号光の入力を遅らせるものであり、例えば、3dBカプラ10から非線形導波路素子2までの光路長を、3dBカプラ10から非線形導波路素子1までの光路長よりも長くすることにより形成されている。そして、可変遅延回路11により与えられる2つのNRZ信号光の入力時間差 $\Delta T$ が、非線形導波路素子1及び2における非線形屈折率変化の緩和時間、即ち、キャリア寿命よりも短くなるように設定されている。また、可変減衰器12及び13は、非線形導波路素子2に入力されるNRZ信号光を、非線形導波路素子1に入力されるNRZ信号光よりも減衰させるものである。

[0029] 本実施形態の全光スイッチは、図7に示す従来例1の全光スイッチの構成と比べて、RZ信号光ではなくNRZ信号光が入力される点、可変遅延回路21により与えられる非線形導波路素子1及び2に入力される各信号光の入力時間差 $\Delta T$ がキャリア寿命よりも短い点、及び非線形導波路素子2に入力される信号よりも非線形導波路素子1

に入力される信号光の強度を大きくする可変減衰器12及び13が設けられている点  
が異なっている。なお、本実施形態の全光スイッチにおける各構成要素は、通常の  
光導波路により相互に接続されている。

[0030] 次に、本実施形態の全光スイッチの動作について説明する。まず、入力ポート7に  
波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光53が入力され、入力ポート8に波長 $\lambda_2$ のCW光52が入力さ  
れる。この波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ は、いずれもSOAの利得領域内に設定される。そし  
て、入力ポート7に入力されたNRZ信号光53は、3dBカプラ10で2つに分配され、そ  
の一方のNRZ信号光は、可変遅延回路11、可変減衰器12及び3dBカプラ5をこの  
順に通過して非線形導波路素子1へ入力される。また、他方のNRZ信号光は、可変  
減衰器13、3dBカプラ6を通過して非線形導波路素子2へ入力される。その際、可変  
遅延回路11によって、非線形導波路素子1に入力されるNRZ信号光と非線形導波  
路素子2に入力されるNRZ信号光との間に $\Delta T$ の時間差がつけられる。即ち、非線  
形導波路素子1にNRZ信号光が入力されて、時間 $\Delta T$ が経過した後で、非線形導  
波路素子2にNRZ信号光が入力される。そして、入力されたNRZ信号光により、非  
線形導波路素子1及び2のキャリア密度が減少し、非線形導波路素子1及び2の屈折  
率が変わる。一方、ポート8へ入力された波長 $\lambda_2$ のCW光52は、3dBカプラ13で  
2つに分配された後、夫々非線形導波路素子1及び2において、屈折率変化(非線  
形位相シフト)を受ける。その後、非線形導波路素子1及び2を通過したCW光は、合  
成部である3dBカプラ4で再び合波されてNRZデータ変調光となり、波長変換光とし  
てポート9から出力される。

[0031] 本実施形態の全光スイッチにおいては、NRZ信号光が入力され、非線形導波路素  
子1において非線形屈折率変化が励起されると、非線形導波路素子1を通過する波  
長 $\lambda_2$ のCW光が非線形位相シフトを受け、ポート1からの波長 $\lambda_2$ の光出力がオンと  
なる。その際の非線形位相シフト量は、時間 $\Delta T$ が経過するまでに少なくとも $\pi/2$ 程  
度であり、 $\pi$ に近いほうが望ましい。そして、時間 $\Delta T$ の後、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光が  
非線形導波路素子2にも入力され、キャリア密度を減少させるとともに屈折率を変化  
させ、非線形導波路素子2を通過する波長 $\lambda_2$ のCW光も非線形位相シフトを受ける  
。このとき、非線形導波路素子2における非線形位相シフトは、非線形導波路素子1

で生じていた非線形位相シフトと同符号で、且つ非線形導波路素子1の非線形位相シフトよりも小さな値とする。非線形導波路素子1で生じている非線形位相シフトも非線形導波路素子2で生じている非線形位相シフトも同じような時間変化をするため、このように非線形導波路素子2へのNRZ信号光の入力を時間 $\Delta T$ だけ遅延させることにより、非線形導波路素子1において非線形位相シフトが生じてから時間 $\Delta T$ 経過した以降の裾引きの部分を相殺することができる。これにより、波長 $\lambda_2$ の光出力がオフからオンに切り替わる過程において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。

[0032] また、本実施形態の全光スイッチにおいては、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光入力が入力からオフに切り替わる過程においても同様にキャリア寿命に起因する裾引きを抑制することができる。具体的には、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光入力が入力になると、非線形導波路素子1におけるキャリア密度が回復し、やはり定常状態へ近づく。その際の定数はキャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示すことになる。しかしながら、時間 $\Delta T$ 経過後、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素子2への信号光入力もオフとなり、キャリア密度の回復が始まる。このキャリア密度の回復、即ち、非線形シフト量も、非線形導波路素子1と非線形導波路素子2とで同じような時間変化を示す。従って、これ以降は両アームの位相差の変化は抑制され、波長 $\lambda_2$ の光出力にはキャリア密度変化の裾引きの影響は現われない。このようにして、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光を入力して波長 $\lambda_2$ のNRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

[0033] 以下、本実施形態の全光スイッチの動作を、入力ポート7にビットレートが40Gb／秒のNRZ信号光が入力され、可変遅延回路11によって調節されるNRZ信号光が非線形導波路素子1及び2へ入力される際の時間差 $\Delta T$ が12ピコ秒である場合を例に詳細に説明する。図2(a)は入力ポート7に入力されるNRZ信号光のパターンを示す波形図であり、図2(b)は非線形導波路素子1及び2における非線形位相シフトを示す波形図であり、図2(c)は出力ポート9から出力される出力光強度のアイパターンを示す波形図である。波形図である。図2(a)に示すように、入力ポート7に入力されるNRZ信号のパターンは、信号光強度がゼロでない場合を「1」、信号光強度がゼロの

場合を「0」として表わすと、「01010001111001000101」となる。この入力波形を $S_{DATA,n}(t, z=0)$ とする。ここで、 $t$ は時間、 $z$ は非線形導波路素子の長さ方向の位置を表し、 $z=0$ は導波路の入射端、 $z=L$ は導波路の出射端を表す。また、 $n$ は1又は2を表し、 $n=1$ は非線形導波路素子1における信号光強度を、 $n=2$ は非線形導波路素子2における信号光強度を表す。更に、NRZ信号光53と共に入力されるCW光52の強度を $SCW, n(t, z=0)$ で表す。非線形導波路素子1及び2におけるキャリア密度 $N_1(t, z)$ 及び $N_2(t, z)$ の時間変化は、下記数式1乃至3に従う。

[0034] [数1]

$$\frac{dN_n}{dt} = \frac{J_n}{ed} - \frac{N_n}{\tau} - A_g \times (N_n - N_0) \times \frac{S_{DATA,n}}{h\nu} - A_g \times (N_n - N_0) \times \frac{S_{CW,n}}{h\nu}$$

[0035] [数2]

$$\frac{dS_{DATA,n}}{dz} = \Gamma \times A_g \times (N_n - N_0) \times S_{DATA,n}$$

[0036] [数3]

$$\frac{dS_{CW,n}}{dz} = \Gamma \times A_g \times (N_n - N_0) \times S_{CW,n}$$

[0037] なお、上記数式1乃至3において、 $J_n$ は注入電流密度、 $e$ は単位電荷、 $\tau$ は光入力がない状態でのキャリア寿命、 $A_g$ は微分利得係数、 $N_0$ は利得を生じるキャリア密度、 $h$ はプランク定数、 $\nu$ は光周波数及び $\Gamma$ は光閉じ込め係数である。

[0038] また、図2(b)に示す非線形導波路素子1及び2における非線形位相シフト $N_{tot, n(t)}$ は、非線形導波路素子1及び2におけるキャリア密度 $N_n(t, z)$ を長さ方向に積分した量の信号光入力がない状態からの変化に比例し、下記数式4により求められる。

[0039] [数4]

$$N_{tot, n}(t) = \int_0^L N_n(t, z) dz$$

[0040] そして、非線形導波路素子1及び2においてCW光が受ける非線形位相シフト $\phi_n$ (

t)は、下記数式5で与えられる。

[0041] [数5]

$$\phi_n(t) = k \times (N_{\text{tot},n}(t) - M_{\text{tot},n})$$

[0042] なお、上記数式5におけるkは比例定数、 $M_{\text{tot},n}$ はNRZ信号光の入力がない状態で非線形導波路素子におけるキャリア密度を長さ方向に積分した量である。よって、本実施形態の全光スイッチから出力される波長 $\lambda_2$ の出力光強度 $S_{\text{out}}(t)$ は、下記数式6で与えられる。

[0043] [数6]

$$S_{\text{out}}(t) = \frac{1}{2} S_{\text{cw},1}(t, z=L) + \frac{1}{2} S_{\text{cw},2}(t, z=L) \\ + \sqrt{S_{\text{cw},1}(t, z=L) \times S_{\text{cw},2}(t, z=L)} \times \cos(\phi_1(t) - \phi_2(t) + \Delta\phi)$$

[0044] なお、上記数式6における $\Delta\phi$ は位相調整器14及び15によって設定される両アーム間の位相差である。本実施形態の全光スイッチにおいては、非線形導波路素子1における非線形位相シフト $\phi_1(t)$ と、非線形導波路素子2における非線形位相シフト $\phi_2(t)$ とが、同一のキャリア寿命 $\tau$ によって同じ時間変化をし、更に、非線形導波路素子1におけるキャリア密度 $N_{\text{tot},1}(t)$ が裾を引き始めたところで、非線形導波路素子2におけるキャリア密度 $N_{\text{tot},2}(t)$ が立ち上がるため、非線形位相シフト $\phi_1(t)$ の裾引きがかなりの程度相殺される。

[0045] これにより、図2(c)に示すように、出力ポート9から出力される出力光強度 $S_{\text{out}}(t)$ は、良好なアイ開口が得られる。なお、NRZ信号光を両アームの非線形導波路素子1及び2へ入力する際の時間差 $\Delta T$ は、非線形屈折率変化の緩和時間に対応した値に設定されるため、動作ビットレートによって変える必要はない。即ち、同一の構成により、ビットレート無依存動作が可能である。

[0046] 上述したように、本実施形態の全光スイッチにおいては、非線形光学素子1において誘起される位相変化が定常状態に向かう裾引き過程に入る頃に、非線形光学素子2における位相変化が誘起されるため、非線形光学素子1における位相変化の裾

引き過程の影響を、非線形光学素子2における位相変化の立ち上がりによってある程度相殺することができる。また、非線形光学素子1における緩和が初期状態に向かう裾引き過程に入る頃に、非線形光学素子2における位相変化も緩和を開始するため、非線形光学素子1における位相変化の裾引き過程の影響は、非線形光学素子2における位相変化の緩和によってある程度相殺することが可能となる。その結果、キャリア寿命に依存する波長変換出力光の波形歪みが解消されるため、高ビットレートのNRZ信号光でも駆動することが可能になる。

[0047] 次に、本発明の第2の実施形態に係る全光スイッチについて説明する。図3は本実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。なお、図3においては、図1に示す第1の実施形態の全光スイッチと構成要素と同じものには同じ符号を付し、詳細な説明は省略する。図3に示すように、本実施形態の全光スイッチは、入力ポート21から入力された非ゼロ復帰方式でデータ変調された信号光(NRZ信号光)53及び入力ポート22から入力された搬送光であるCW光52を夫々両アームに分配するカップラ23と、両アームを伝搬した光を合成して出力ポート25に出力するカップラ24と、を備えたマッハ・ツェンダー型光回路が設けられている。

[0048] また、この全光スイッチは、前述のマッハ・ツェンダー型光回路における2つのアームの光路長が相互に異なっており、光路長が短いアームには、SOAを備えた非線形導波路素子1及び位相調節器14が設けられており、光路長が長いアームには、SOAを備えた非線形導波路素子2及び位相調節器15が設けられている。なお、本実施形態の全光スイッチにおける位相調整器14及び15は、NRZ信号光53が入力されない場合に、CW光52に由来する出力光が出力ポート25から出力されないようにするものであり、NRZ信号光53の入力がない場合には、両アームを通過したCW光がカップラ24で干渉する際の位相差が半波長となるように設定されている。

[0049] 上述の如く、本実施形態の全光スイッチにおいては、非線形導波路素子2が設けられているアームの方が、非線形導波路素子1が設けられているアームよりも光路が長くなっている。これにより、非線形導波路素子1及び2を通過するCW光がカップラ24で合波する際に $\Delta T$ の時間差を与えることができるため、非線形導波路素子2を通過するCW光に、キャリア寿命よりも短い時間差 $\Delta T$ が与えられる。なお、本実施形態の全

光スイッチは、マッハ・ツェンダー型光回路における2つのアームの光路長が相互に異なっている点を除いては、図8に示す従来例2の全光スイッチの構成と同じである。

[0050] 次に、本実施形態の全光スイッチの動作について説明する。本実施形態の全光スイッチは、入力ポート21に波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光53が入力され、入力ポート22に波長 $\lambda_2$ のCW光52が入力される。この波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ は、いずれもSOAの利得領域内に設定される。入力ポート21に入力されたNRZ信号光53は、カプラ23で2つに分配されて、一方は非線形導波路素子1へ入力され、他方は非線形導波路素子2へ入力される。このカプラ23は、非線形導波路素子1において引き起こされる屈折率変化(非線形位相シフト)、非線形導波路素子2において引き起こされる屈折率変化より大きくなるように、分配比が非対称となっている。また、NRZ信号光が入力されると、非線形導波路素子1及び2において、夫々非線形屈折率変化が励起される。一方、入力ポート22に入力されたCW光52は、カプラ23で分岐された後、非線形導波路素子1及び2で生じる非線形位相シフトを受ける。そして、非線形導波路素子1及び2を通過したCW光は、カプラ34で再び合波されてNRZデータ変調光となり、波長変換光として出力ポート25から出力される。

[0051] 本実施形態の全光スイッチにおいては、マッハ・ツェンダー型光回路における2つのアームの光路長が相互に異なるように設定されているため、両アームを通過してきた波長 $\lambda_2$ の光がカプラ24において合波される際に、非線形位相シフトの立ち上がりに時間 $\Delta T$ だけずれが生じる。具体的には、先ず、非線形導波路素子1を通過した波長 $\lambda_2$ の光の非線形位相シフトによって両アーム間の位相差が変化し、出力ポート25からの波長変換光の出力がオンとなる。そして時間 $\Delta T$ が経過した後、非線形導波路素子2を通過した波長 $\lambda_2$ の光の非線形位相シフトが、非線形導波路素子1を通過した波長 $\lambda_2$ の光の非線形位相シフトにおける時間 $\Delta T$ 経過後の裾引きの部分を相殺する。これにより、波長 $\lambda_2$ の光出力がオフからオンに切り替わる過程において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。

[0052] また、本実施形態の全光スイッチにおいては、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光入力が入力ポート21からオフに切り替わる過程においても同様に、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。具体的には、波長 $\lambda_1$ の信号光入力が入力ポート21になると、非線形導波路素子1及

び2におけるキャリア密度が回復し、定常状態へ近づく。その際の定数はキャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示す。しなしながら、この全光スイッチのマツハ・ツェンダー型光回路は、両アームの光路長が相互に異なっているため、先ず、非線形導波路素子1を通過した波長 $\lambda_2$ の光の非線形位相シフトが回復していくことにより、両アーム間の位相差が初期状態に向かって、出力ポート25からの波長変換光の出力がオフとなる。そして、時間 $\Delta T$ が経過し、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素子2を通過した波長 $\lambda_2$ の光の非線形位相シフトも回復する。このため、これ以降は両アームの位相差の変化は抑制され、波長 $\lambda_2$ の光出力にはキャリア密度変化の裾引きの影響は現われない。このようにして、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光を入力して波長 $\lambda_2$ のNRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

[0053] 上述したように、本実施形態の全光スイッチにおいては、スイッチ動作がオフからオンに切り替わる過程及びオンからオフに切り替わる過程において、非線形屈折率変化の緩和時間の影響を受けずに動作させることができるため、高ビットレートのNRZ信号光でも駆動することができる。

[0054] 次に、本発明の第3の実施形態の全光スイッチについて説明する。図4は本実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。なお、図4においては、図1に示す第1の実施形態の全光スイッチと構成要素と同じものには同じ符号を付し、詳細な説明は省略する。図4に示すように、本実施形態の全光スイッチは、入力ポート8にCW光ではなく、クロックパルス光54が入力され、出力ポート9からはNRZからRZへの変換された光が出力される点を除いては、図1に示す第1の実施形態の全光スイッチと同様である。従って、クロックパルス光54に対するスイッチングウィンドウは、前述の第1の実施形態の全光スイッチにおけるCW光に対するスイッチ出力波形と同じとなる。

[0055] 次に、本実施形態の全光スイッチの動作について説明する。本実施形態の全光スイッチにおいては、入力ポート7に波長が $\lambda_1$ のNRZ信号光53が入力され、入力ポート8には波長が $\lambda_2$ で、NRZ信号光53と同期したクロックパルス光54が入力される。この波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ は、いずれもSOAの利得領域内に設定される。入力ポート7に入力されたNRZ信号光53は、3dBカプラ10で2つに分配され、その一方は、



可変遅延回路11、可変減衰器12及び3dBカプラ5をこの順に通過して非線形導波路素子1へ入力される。また、他方は、可変減衰器13及び3dBカプラ6をこの順に通過して非線形導波路素子2へ入力される。このとき、可変遅延回路11を調節することにより、非線形導波路素子1及び2に入力される信号光には $\Delta T$ の時間差がつけられる。このNRZ信号光が入力すること、非線形導波路素子1及び2は、キャリア密度が減少し、屈折率に変化する。一方、入力ポート8に入力された波長 $\lambda_2$ のクロックパルス光54は、3dBカプラ3で一旦分岐され、一方が非線形導波路素子1に、他方が非線形導波路素子2に入力されて屈折率変化(非線形位相シフト)を受ける。そして、非線形導波路素子1及び2を通過したクロックパルス光は、3dBカプラ4で再び合波されて、RZデータ変調光となり、波長変換光としてポート9から出力される。

[0056] なお、このマッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器14及び15により、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光53の入力がないときに、波長 $\lambda_2$ の出力光がポート9から出力されないように、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光の入力がない場合には、両アームを通過した波長 $\lambda_2$ のクロック光が3dBカプラ4で干渉する際の位相差が半波長となるように設定されている。

[0057] 本実施形態の全光スイッチにおいては、NRZ信号光53が入力されると、先ず、非線形導波路素子1へNRZ信号光が入力され、時間 $\Delta T$ が経過した後に非線形導波路素子2に非線形導波路素子1へ入力されたNRZ信号光よりも低強度のNRZ信号光が入力される。これにより、スイッチングウィンドウがオンとなる過程において、非線形導波路素子1における非線形屈折率変化の裾引きの部分が、非線形導波路素子2における非線形屈折率変化によって相殺される。即ち、波長 $\lambda_2$ のクロックパルス光がオンとなる動作において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。

[0058] 同様に、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光入力がオンからオフに切り替わる過程においても、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。具体的には、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光入力がオフになると、非線形導波路素子1におけるキャリア密度が回復して定常状態へ近づく。その際の定数はキャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示す。しかしながら、時間 $\Delta T$ が経過した後、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素子2への信号光入力もオフとなり、キャリア密度の

回復が始まる。これにより、これ以降は両アームの位相差の変化が抑制され、波長  $\lambda_2$  のクロックパルス光がオフとなる動作においてキャリア密度変化の裾引きの影響は現われない。本実施形態の全光スイッチにおいては、このようにして、波長  $\lambda_1$  のNRZ信号光を入力して波長  $\lambda_2$  のRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

[0059] 上述したように、本実施形態の全光スイッチにおいては、搬送光としてクロックパルス光を入力した場合においても、スイッチ動作がオフからオンに切り替わる過程及びオンからオフに切り替わる過程において、非線形屈折率変化の緩和時間の影響を受けずに動作させることができる。その結果、従来の全光スイッチよりも広範囲のビットレートのNRZ信号光で動作可能になる。

[0060] 前述の第1乃至第3の実施形態の全光スイッチにおいては、NRZ光の伝搬方向とCW光及びクロックパルス光等の搬送光の搬送方向とが同じであるが、本発明はこれに限定されるものではなく、NRZ光の伝搬方向と搬送光の搬送方向とが逆方向であっても、同様の効果が得られる。この場合、NRZ信号光と搬送光とが同じ波長であってもよい。次に、本発明の第4の実施形態に係る全光スイッチについて説明する。図5は本実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。なお、図5においては、図1に示す第1の実施形態の全光スイッチと構成要素と同じものには同じ符号を付し、詳細な説明は省略する。図5に示すように、本実施形態の全光スイッチは、入力ポート31から入力された非ゼロ復帰方式でデータ変調された信号光(NRZ信号光)53を2つに分配する3dBカプラ33と、入力ポート8から入力された搬送光であるCW光52を2つに分配する3dBカプラ36と、3dBカプラ33で分配された一方のNRZ信号光及び3dBカプラ36で分配された一方のCW光が入力される3dBカプラ34と、3dBカプラ33で分配された他方のNRZ信号光及び3dBカプラ36で分配された他方のCW光が入力される3dBカプラ35と、3dBカプラ34から出力された光及び3dBカプラ35から出力された光を合成して出力ポート38に出力する3dBカプラ37と、を備えたマッハ・ツェンダー型光回路が設けられている。

[0061] 本実施形態の全光スイッチにおいては、前述のマッハ・ツェンダー型光回路におけるNRZ信号光53の搬送方向とCW光52の搬送方向とが相互に逆方向になるように、入力ポート31及び入力ポート32が配置されている。また、3dBカプラ36と3dBカプ

ラ34との間に、SOAを備えた非線形導波路素子1及び位相調節器14が設けられており、3dBカプラ36と3dBカプラ35との間には、SOAを備えた非線形導波路素子2及び位相調節器15が設けられている。この位相調整器14及び15は、NRZ信号光53が入力されないときは、CW光52に由来するの出力光が出力ポート389から出力されないように、NRZ信号光53の入力がない場合には、両アームを通過したCW光が3dBカプラ4で干渉する際の位相差が半波長になるように設定されている。

[0062] 更に、本実施形態の全光スイッチにおいては、入力されたNRZ信号光53を分配する3dBカプラ33と3dBカプラ34との間に、可変遅延回路11及び可変減衰器12が設けられており、3dBカプラ33と3dBカプラ35との間には、可変減衰器13が設けられている。可変遅延回路11は、3dBカプラ33で分配された一方のNRZ信号光が非線形導波路素子1に入力した後で、他方のNRZ信号光が非線形導波路素子2に入力するように、他方のNRZ信号光の入力を遅らせるものであり、可変遅延回路11により与えられる2つのNRZ信号光の入力時間差 $\Delta T$ が、非線形導波路素子1及び2における非線形屈折率変化の緩和時間、即ち、キャリア寿命よりも短くなるように設定されている。また、可変減衰器12及び13は、非線形導波路素子2に入力されるNRZ信号光を、非線形導波路素子1入力されるNRZ信号光よりも減衰させるものである。なお、本実施形態の全光スイッチにおける上記以外の構成は、前述の第1の実施形態の全光スイッチと同様である。

[0063] 次に、本実施形態の全光スイッチの動作について説明する。本実施形態の全光スイッチは、入力ポート31に波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光53が入力され、入力ポート32に波長 $\lambda_2$ のCW光52が入力される。この波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ は、いずれもSOAの利得領域内に設定される。そして、入力ポート31に入力された波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光53は、3dBカプラ33で2つに分配された後、一方は、可変遅延回路11、可変減衰器12、3dBカプラ34及び位相調節器14を通過して非線形導波路素子1へ入力される。他方は、可変減衰器13、3dBカプラ35及び位相調節器15を通過して非線形導波路素子2へ入力される。このとき、可変遅延回路11により、非線形導波路素子1及び2に入力されるNRZ信号光には $\Delta T$ の時間差がつけられる。そして、非線形導波路素子1及び2は、NRZ信号光が入力されると、キャリア密度が減少し、屈折率が変化

する。

[0064] 一方、入力ポート32に入力された波長 $\lambda_2$ のCW光52は、3dBカプラ36で一旦分配された後、一方が非線形導波路素子1に、他方が非線形導波路素子2に入力され、非線形導波路1及び2において、屈折率変化(非線形位相シフト)を受ける。その際、非線形導波路素子1及び2内においては、CW光及びNRZ信号光が相互に逆方向に伝搬する。そして、非線形導波路素子1及び2を通過したCW光は、3dBカプラ37で再び合波されてNRZデータ変調光となり、波長変換光としてポート38から出力される。

[0065] 本実施形態の全光スイッチにおいては、NRZ信号光が入力され、非線形導波路素子1において非線形屈折率変化が励起されると、非線形導波路素子1を通過する波長 $\lambda_2$ のCW光が非線形位相シフトを受け、出力ポート38からの波長 $\lambda_2$ の光出力がオンとなる。この非線形導波路素子1における非線形位相シフト量は、時間 $\Delta T$ が経過するまでに少なくとも $\pi/2$ 程度であることが好ましく、 $\pi$ に近いことがより好ましい。また、非線形導波路素子1にNRZ信号光が入力されてから時間 $\Delta T$ が経過した後、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光が非線形導波路素子2にも入力され、非線形導波路素子2のキャリア密度が減少すると共に、屈折率に変化する。これにより、非線形導波路素子2を通過する波長 $\lambda_2$ のCW光も非線形位相シフトを受けることになる。非線形導波路素子2における非線形位相シフトは、非線形導波路素子1で生じていた非線形位相シフトと同符号で、且つ非線形導波路素子1の非線形位相シフトよりも小さい。これにより、非線形導波路素子1において非線形位相シフトが生じてから時間 $\Delta T$ 経過した以降の裾引きの部分を相殺することができる。その結果、波長 $\lambda_2$ の光出力がオフからオンに切り替わる過程において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。

[0066] また、本発明の全光スイッチにおいては、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光入力がオンからオフに切り替わる過程においても同様にキャリア寿命に起因する裾引きを抑制することができる。具体的には、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光入力がオフになると、非線形導波路素子1におけるキャリア密度が回復して定常状態へ近づく。その時定数は、キャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示す。しかしながら、時間 $\Delta T$ が経過した後、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素

子2へのNRZ信号光入力もオフとなり、キャリア密度の回復が始まる。これにより、これ以降は両アームの位相差の変化が抑制され、波長 $\lambda_2$ の光出力にはキャリア密度変化の裾引きの影響は現われない。このようにして、波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光を入力して波長 $\lambda_2$ のNRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

[0067] なお、本実施形態の全光スイッチにおいても、CW光の代わりにクロックパルス光を入力することにより、NRZ-RZ変換された光を出力することができる。

[0068] 次に、本発明の第5の実施形態の全光スイッチについて説明する。図6は本実施形態の全光スイッチの構成を示す図である。なお、図6においては、図3に示す第2の実施形態の全光スイッチと構成要素と同じものには同じ符号を付し、詳細な説明は省略する。図6に示すように、本実施形態の全光スイッチは、入力ポート41から入力された非ゼロ復帰方式でデータ変調された信号光(NRZ信号光)53を両アームに分配するカプラ43と、入力ポート42から入力されたCW光52を両アームに分配するカプラ44と、を備えたマッハ・ツェンダー型光回路が設けられている。このマッハ・ツェンダー型光回路においては、NRZ信号光53の搬送方向とCW光52の搬送方向とが相互に逆方向になるように、入力ポート41及び入力ポート42が配置されており、両アームを通過したCW光52は、カプラ43で合成されて出力ポート45に出力される。

[0069] また、この全光スイッチは、前述のマッハ・ツェンダー型光回路における2つのアームのうち、一方のアームには、SOAを備えた非線形導波路素子1及び位相調節器14が設けられており、他方のアームには、SOAを備えた非線形導波路素子2及び位相調節器15が設けられている。そして、非線形導波路素子1と非線形導波路素子2とは、カプラ43までの光路長が相互に異なるように配置されている。具体的には、カプラ43から非線形導波路素子1までの光路長 $L_1$ が、カプラ43から非線形導波路素子2までの光路長 $L_2$ よりも短くなるように配置されている。更に、本実施形態の全光スイッチにおいては、非線形導波路素子1において引き起こされる屈折率変化(非線形位相シフト)が、非線形導波路素子2において引き起こされる屈折率変化よりも大きくなるように、カプラ43における分配比を非対称としている。更にまた、本実施形態の全光スイッチにおける位相調整器14及び15は、NRZ信号光53が入力されない場合に、CW光52に由来する出力光が出力ポート45から出力されないようにするため、N

RZ信号光53の入力がない場合には、両アームを通過したCW光がカプラ43で干渉する際の位相差が半波長となるように設定されている。なお、本実施形態の全光スイッチにおける上記以外の構成は、前述の第2の実施形態の全光スイッチと同様である。

[0070] 次に、本実施形態の全光スイッチの動作について説明する。本実施形態の全光スイッチにおいては、入力ポート41に波長 $\lambda_1$ のNRZ信号光53が入力され、入力ポート42に波長 $\lambda_2$ のCW光52が入力される。この波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ は、いずれもSOAの利得領域内に設定される。そして、入力ポート41に入力されたNRZ信号光53は、カプラ43で両アームに分配された後、一方は非線形導波路素子1へ入力され、他方は非線形導波路素子2へ入力される。これにより、非線形導波路素子1及び2において夫々非線形屈折率変化が励起される。この全光スイッチにおいては、カプラ43から非線形導波路素子1までの光路長 $L_1$ が、カプラ43から非線形導波路素子2までの光路長 $L_2$ よりも短くなっており、カプラ43における分配比が非対称となっているため、非線形導波路素子1において引き起こされる屈折率変化(非線形位相シフト)は、非線形導波路素子2において引き起こされる屈折率変化よりも大きくなる。

[0071] 一方、入力ポート42に入力された波長 $\lambda_2$ のCW光52は、カプラ44で両アームに分配された後、一方は位相調節器14を経由して位相非線形導波路素子1に入力され、他方は、位相調節器15を経由して位相非線形導波路素子2に入力される。そして、位相非線形導波路素子1及び2において非線形位相シフトを受ける。このとき、非線形導波路素子1及び2内においては、CW光及びNRZ信号光が相互に逆方向に伝搬する。そして、非線形導波路素子1及び2を通過したCW光は、カプラ43で再び合波されてNRZデータ変調光となり、波長変換光として出力ポート45から出力される。

[0072] 本実施形態の全光スイッチにおいては、カプラ43から非線形導波路素子1までの光路長 $L_1$ が、カプラ43から非線形導波路素子2までの光路長 $L_2$ よりも短いため、両アームを通過してきた波長 $\lambda_2$ の光がカプラ43において合波される際、非線形位相シフトの立ち上がりに時間 $\Delta T = (L_2 - L_1) / v_g$ のずれが生じる。ここで、 $v_g$ は群速度である。具体的には、先ず、非線形導波路素子1を通過した波長 $\lambda_2$ の光の非線形位

相シフトによって両アーム間の位相差が変化し、出力ポート45からの波長変換光の出力がオンとなる。そして、時間  $\Delta T$  が経過した後、非線形導波路素子2を通過した波長  $\lambda_2$  の光の非線形位相シフトが、非線形導波路素子1を通過した波長  $\lambda_2$  の光の非線形位相シフトにおける時間  $\Delta T$  経過後の裾引きの部分を相殺する。これにより、波長  $\lambda_2$  の光出力がオフからオンに切り替わる過程において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。

[0073] 同様に、本実施形態の全光スイッチにおいては、波長  $\lambda_1$  の信号光入力が入オンからオフに切り替わる過程においても、キャリア寿命に起因する裾引きを抑制することができる。この全光スイッチにおいては、波長  $\lambda_1$  の信号光入力が入オフになると、非線形導波路素子11、12におけるキャリア密度は回復して定常状態へ近づく。その際の定数はキャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示す。しかしながら、両アームの光路長が相互に異なっているため、先ず、非線形導波路素子1を通過した波長  $\lambda_2$  の光の非線形位相シフトが回復していくことによって両アーム間の位相差が初期状態に向かい、出力ポート45からの波長変換光の出力が入オフとなる。そして、時間  $\Delta T$  が経過した後、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素子2を通過した波長  $\lambda_2$  の光の非線形位相シフトも回復していくこのため、これ以降は両アームの位相差の変化は抑制され、波長  $\lambda_2$  の光出力にはキャリア密度変化の裾引きの影響は現われない。本実施形態の全光スイッチにおいては、このようにして、波長  $\lambda_1$  のNRZ信号光53を入力し、波長  $\lambda_2$  のNRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

[0074] なお、本実施形態の全光スイッチにおいても、CW光の代わりにクロックパルス光を入力することにより、NRZ-RZ変換された光を出力することができる。

[0075] また、前述の第1乃至6の実施形態の全光スイッチにおいては、両アームで生じる非線形位相シフトが相互に異なるようにするため、両アームの非線形導波路素子に入力する信号光強度が異なるようにしているが、非線形導波路素子としてSOAを使用する場合には、両アームで生じる非線形位相シフトが異なるようにする方法として、位相シフトと利得変化の比(アルファ・パラメタ)が異なるSOAを使用する方法、微分利得係数が異なるSOAを使用する方法、注入電流量が異なるSOAを使用する方法

及び光閉じ込め係数が異なるSOAを使用する方法等を適用することもできる。

[0076] 更に、前述の第1乃至6の実施形態の全光スイッチにおける両アームに非線形導波路素子を備えたマッハ・ツェンダー光回路は、半導体上にモノリシック集積されたものでもよく、半導体非線形導波路素子を石英系等の材料で作製される平面光回路にハイブリッド集積されたものでもよい。また、ディスクリートな光部品により構成されたものでもよい。

#### 産業上の利用可能性

[0077] 本発明は、光ファイバ通信及び光情報処理用の波長変換器として利用することができる。

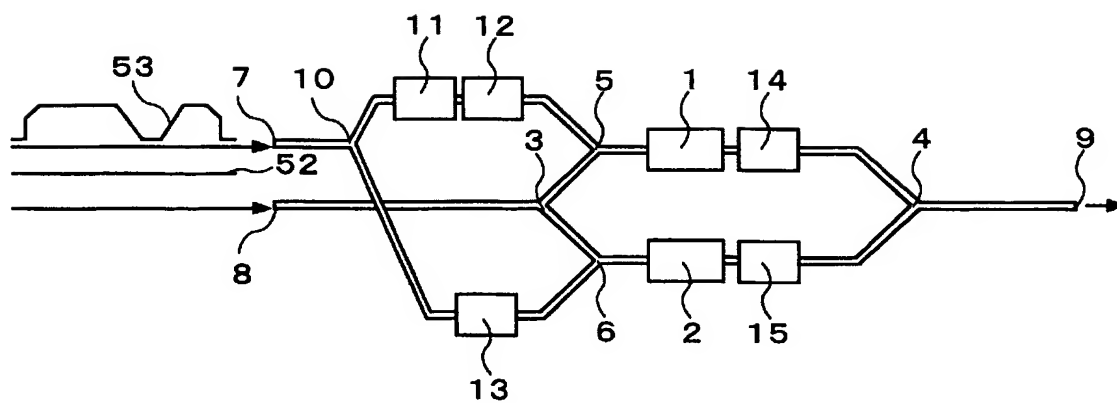


## 請求の範囲

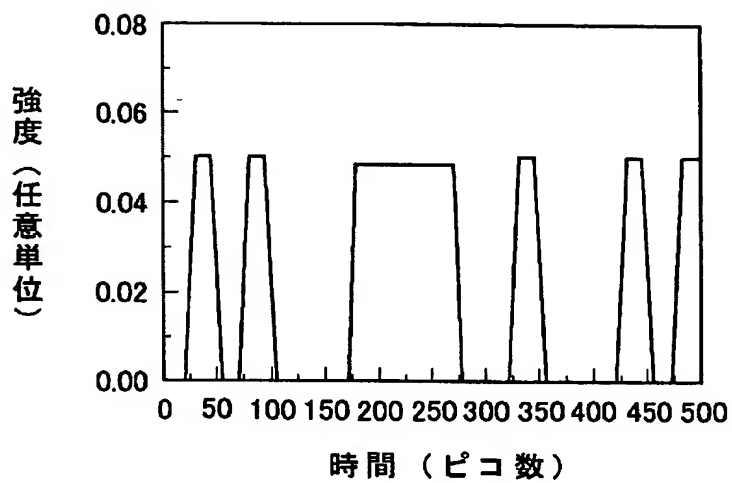
- [1] 非ゼロ復帰方式の信号光が入力される第1の入力ポートと、搬送光が入力される第2の入力ポートと、第1及び第2の光路と、前記第1及び第2の入力ポートに入力された光を夫々前記第1及び第2の光路に分配する分配部と、前記第1の光路に設けられ前記分配部により分配された信号光のうち一方の信号光及び前記分配部により分配された搬送光のうち一方の搬送光が入力され前記一方の信号光により屈折率が非線形に変化して前記一方の搬送光の位相を非線形にシフトさせる第1の非線形光学素子と、前記第2の光路に設けられ前記分配部により分配された信号光のうち他方の信号光及び前記分配部により分配された搬送光のうち他方の搬送光が入力され前記他方の信号光により屈折率が非線形に変化して前記他方の搬送光の位相を非線形にシフトさせる第2の非線形光学素子と、前記第2の非線形光学素子に入力される前記他方の信号光を前記第1の非線形光学素子に入力される前記一方の信号光よりも減衰させる減衰部と、前記第1の非線形光学素子に前記一方の信号光が入力した後に前記第2の非線形光学素子へ前記他方の信号光が入力するようにする遅延部と、前記第1及び第2の光路を通過した光を合成する合成部とを有し、前記遅延部により前記他方の信号光の入力が遅延される時間は、前記第1及び第2の非線形光学素子における非線形屈折率変化の緩和時間よりも短いことを特徴とする全光スイッチ。
- [2] 前記第1及び第2の入力ポートは、前記信号光の伝搬方向と前記搬送光の伝搬方向とが逆方向になるように配置されていることを特徴とする請求項1に記載の全光スイッチ。
- [3] 前記搬送光は、無変調連続光であることを特徴とする請求項1又は2に記載の全光スイッチ。
- [4] 前記搬送光は、前記信号光に同期したクロックパルス光であることを特徴とする請求項1又は2に記載の全光スイッチ。
- [5] 前記遅延部は、前記第2の光路における前記分配部から前記第2の非線形光学素子までの光路長を、前記第1の光路における前記分配部から前記第1の非線形素子までの光路長よりも長くすることにより形成されていることを特徴とする請求項1乃至4

のいずれか1項に記載の全光スイッチ。

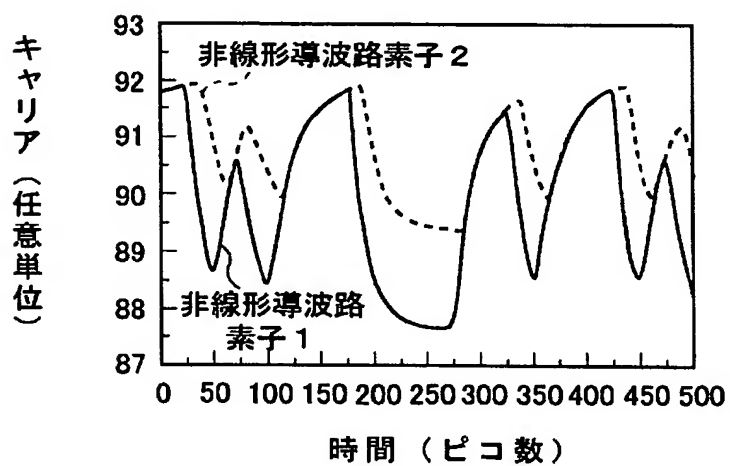
[図1]



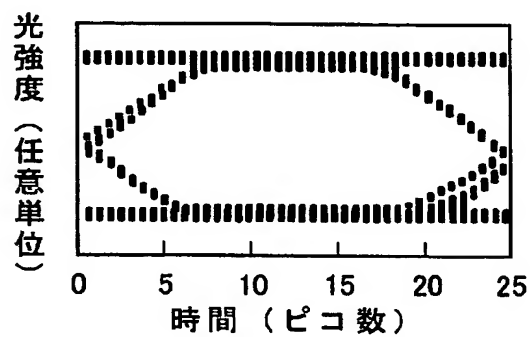
[図2]



(a)

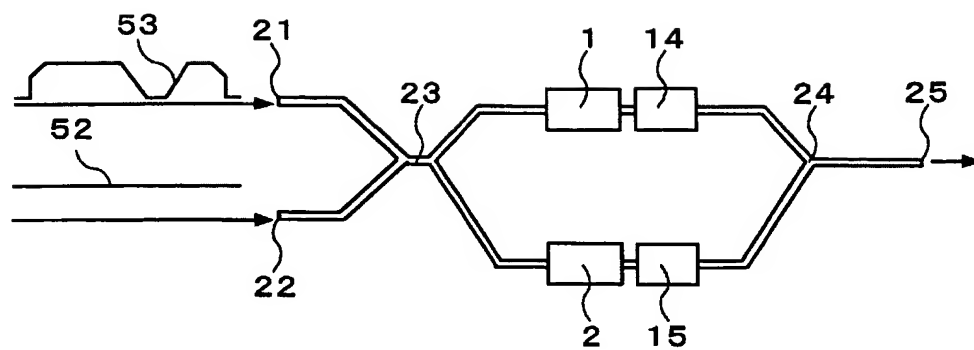


(b)

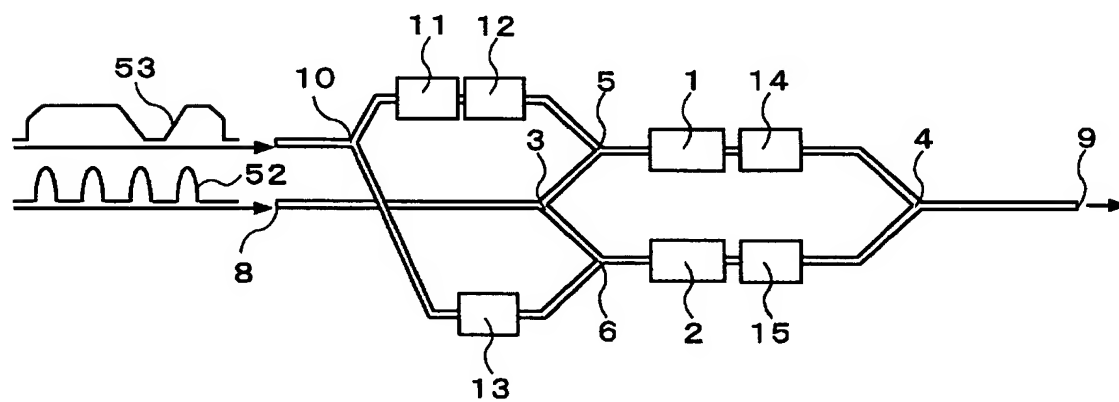


(c)

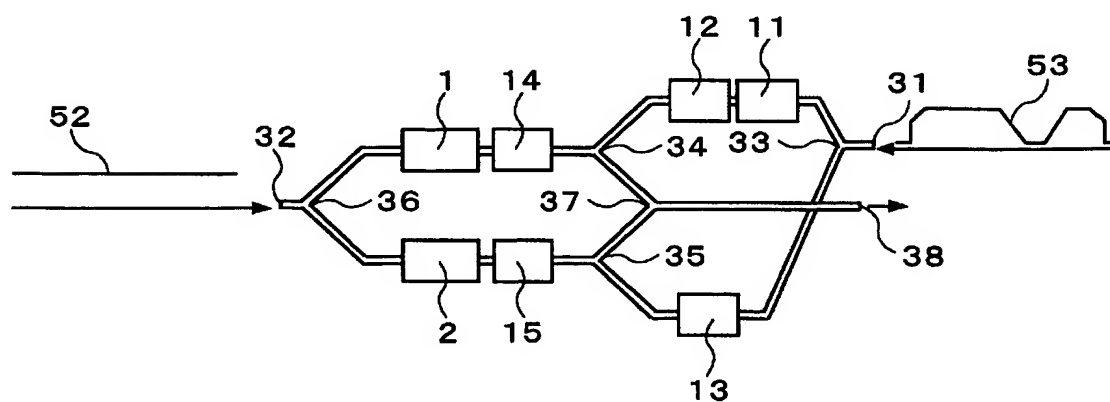
[図3]



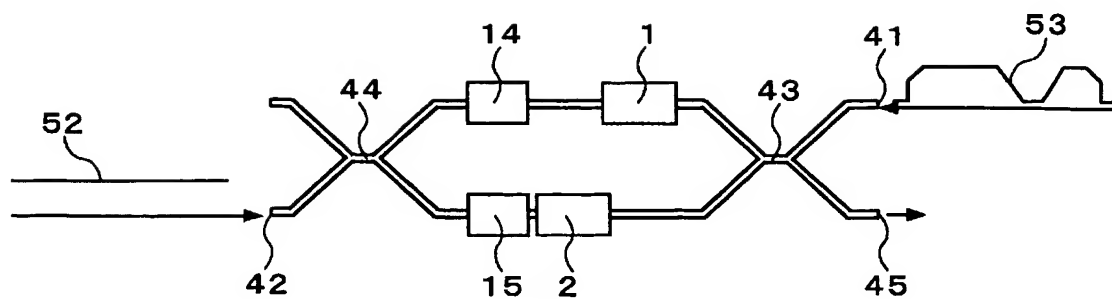
[図4]



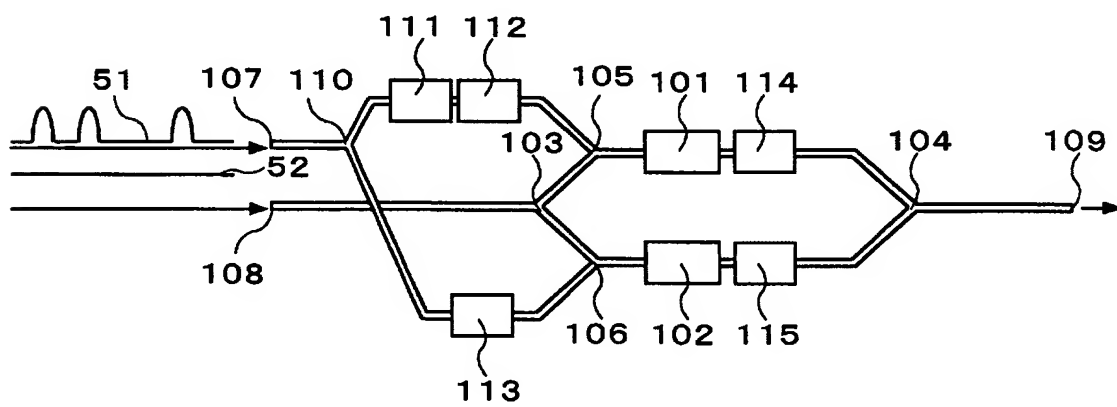
[図5]



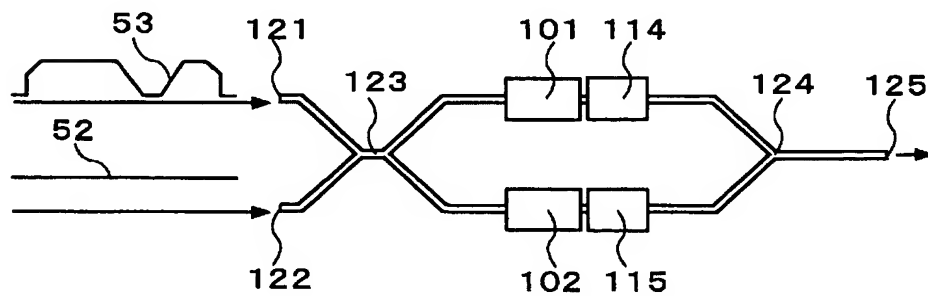
[図6]



[図7]



[図8]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011597

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F2/02, G02F1/365

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G02F2/02, G02F1/365

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-506726 A (Alcatel), 18 February, 2003 (18.02.03), Full text; all drawings & WO 01/10045 A2 & EP 1145446 A & CA 2345371 A & FR 2797331 A & US 662885 B1	1-5
A	JP 2003-57695 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 26 February, 2003 (26.02.03), Full text; all drawings & EP 1191387 A2 & US 2002-101293 A1	1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
09 November, 2004 (09.11.04)

Date of mailing of the international search report  
22 November, 2004 (22.11.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011597

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
T	Shigeru NAKAMURA, "Shinki Dosa Joken o Donyu shita Taisho Mach-Zender-gata Switch ni yoru Bit Rate Muizon NRZ Zenhikarihacho Henkan to Sono Shutsuryoku Hikari Denso Tokusei", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 27 May, 2004 (27.05.04), Vol.104, No.80 (CS2004 1-16), pages 5 to 10	1-5



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F2/02, G02F1/365

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F2/02, G02F1/365

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPuls (JOIS)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2003-506726 A (アルカテル) 2003.02.18, 全文, 全図 &WO 01/10045 A2 &EP 1145446 A &CA 2345371 A &FR 2797331 A &US 662885 B1	1-5
A	JP 2003-57695 A (日本電信電話株式会社) 2003.02.26, 全文, 全図 &EP 1191387 A2 &US 2002-101293 A1	1-5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.11.2004

国際調査報告の発送日

22.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

三橋 健二

2X

9412

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
T	中村滋、新規動作条件を導入した対称マッハ・ツェンダ型スイッチによるビットレート無依存NRZ全光波長変換とその出力光伝送特性、電子情報通信学会技術研究報告、2004. 05. 27、Vol. 104、No. 80 (CS2004 1-16)、pp. 5-10	1 - 5